

Calcémie, Phosphatémie et Phosphatasémie chez des Bovins entretenus sur les sols acides de la Région Lyonnaise

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 19 DÉCEMBRE 1955

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

par

BELLOIR Georges

Né le 12 Novembre 1931 à HAUTE-RIVOIRE (Rhône)



IMPRIMERIE DES BEAUX-ARTS
CAMILLE ANNEQUIN, 19, RUE ROUX-SOIGNAT, LYON

1955

CALCÉMIE, PHOSPHATÉMIE ET PHOSPHATASÉMIE
CHEZ DES BOVINS ENTRETENUS SUR
LES SOLS ACIDES DE LA RÉGION LYONNAISE

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Directeur M. JUNG.
Professeurs honoraires... MM. BASSET.
DOUVILLE.
CUNY.

PROFESSEURS

Physique, Chimie et Toxicologie, Pharmacie.....	MM. TAPERNOUX.
Anatomie descriptive des animaux domestiques, Téra- tologie	TAGAND.
Physiologie, Thérapeutique générale, Matière médi- cale	JUNG.
Histologie et Embryologie, Anatomie pathologique, Inspection des viandes.....	LUCAM.
Parasitologie et maladies parasitaires, Zoologie appli- quée, Botanique, Clinique des maladies parasitaires et des maladies de la peau.....	EUZÉBY.
Pathologie médicale, Séméiologie et Propédeutique, Jurisprudence vétérinaire, Médecine légale, Clini- que médicale.....	FLORIO.
Pathologie chirurgicale, Séméiologie, Médecine opé- ratoire et ferrure, Clinique chirurgicale.....	COLLET.
Pathologie de la reproduction, Séméiologie et Patho- logie de la reproduction chez les animaux domes- tiques, Obstétrique, Clinique	BERTRAND.
Maladies microbiennes, Police sanitaire, Microbiologie et Pathologie générale, Clinique spéciale.....	X...
Zootecnie et appréciation des animaux domestiques, Aliments du bétail, Agronomie et Hygiène des ani- maux, Economie rurale.....	JEAN-BLAIN.

CHEFS DE TRAVAUX

MM. BARONE, Agrégé, JOUBERT, Agrégé, MAGAT, Agrégé,
COULON, FERNEY, FLACHAT, COTTEREAU

MEMBRES DU JURY

MM. GABRIELLE, Président ; FLORIO, BERTRAND, Assesseurs.

La Faculté de Médecine et l'Ecole Vétérinaire déclarent que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner ni approbation ni improbation.

Calcémie, Phosphatémie et Phosphatasémie chez des Bovins entretenus sur les sols acides de la Région Lyonnaise

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 19 DÉCEMBRE 1955

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

par

BELLOIR Georges

Né le 12 Novembre 1931 à HAUTE-RIVOIRE (Rhône)



IMPRIMERIE DES BEAUX-ARTS
CAMILLE ANNEQUIN, 19, RUE ROUX-SOIGNAT, LYON

1955



A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

Le Docteur Fernand BELLOIR

Ancien Interne des Hôpitaux de Paris

A MA MÈRE

Puisse-t-elle trouver dans ce modeste travail un bien faible témoignage de ma profonde affection et de ma vive reconnaissance pour tous les sacrifices qu'elle s'est imposée pour moi.

A MA FEMME

A MES FRÈRES

A TOUS LES MIENS

A TOUS MES AMIS



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A Monsieur le Professeur GABRIELLE
de la Faculté de Médecine de Lyon

Qui nous a fait le grand honneur d'accepter
la présidence du Jury de notre Thèse.

A Monsieur le Professeur BRION

En témoignage de respectueuse reconnaissance
pour la bienveillante attention qu'il a bien voulu
nous accorder dans l'élaboration de ce travail.

A Monsieur le Professeur FLORIO

Qui a bien voulu accepter de juger notre tra-
vail. Témoignage de profonde gratitude.

A Monsieur le Professeur BERTRAND

Qu'il veuille bien agréer l'hommage de notre
respectueuse reconnaissance.

A TOUS NOS MAITRES
DE L'ÉCOLE VÉTÉRINAIRE DE LYON

A Monsieur le Docteur RICARD

Vétérinaire à La Côte-Saint-André (Isère)

Qui nous a révélé cette profession si attachante, nous a toujours encouragé dans chacun de nos efforts, et dont les conseils d'éminent praticien ont si heureusement complété l'enseignement reçu à l'Ecole.

Nous l'assurons de notre profond et respectueux attachement.

A Monsieur le Docteur FIANCETTE

Vétérinaire à l'Arbresle (Rhône)

En reconnaissance de l'appui qu'il nous a apporté dans l'établissement de ce travail.

A Monsieur COTTEREAU

Chef de Travaux à l'Ecole Vétérinaire de Lyon

Pour l'intérêt et la sympathie qu'il nous a toujours témoignés. Son aide et ses conseils nous furent très précieux dans la réalisation de notre thèse.

AVANT-PROPOS

En 1953, la Direction des Services Agricoles du Rhône a présenté : « Sols du Rhône », bilan dressé après étude systématique des terrains agricoles du département : plus de 3.500 analyses de sols ont été dépouillées et interprétées au cours de cette entreprise. Les agriculteurs ont pu voir l'intérêt qu'ils avaient à faire analyser leurs terrains s'ils voulaient fertiliser leurs sols rationnellement.

Actuellement, en agriculture, une propagande active s'effectue en vue d'augmenter la productivité : accroître la fertilité des sols peut bien être la première solution apportée à ce problème. Les récoltes seront ainsi plus abondantes et de meilleure qualité. Mais si l'on améliore la fertilité des terrains agricoles il ne faudra pas oublier non plus d'améliorer la qualité des pâturages : on touchera ainsi directement la production animale. L'interdépendance entre la production agricole et l'élevage est, en effet, certaine : pour leur nourriture, les animaux sont « tributaires des plantes qui tiennent leur valeur des éléments constitutifs du sol sur lequel elles naissent et se développent » (Lesbouyries).

Si à notre tour, nous nous sommes attachés à effectuer une enquête parmi la population bovine de deux cantons du Rhône, ce n'est pas pour aller contre les directives des Services Agricoles, mais pour nous placer sur un plan parallèle. Nous avons essayé simplement de fournir quelques nouveaux éléments d'appréciation dans la discussion d'un problème qui demeure important pour les éleveurs : l'amélioration du bétail.

Nous avons effectué une série d'analyses de fourrages et recherché la calcémie, la phosphatémie, la phosphatasémie dans un

grand nombre d'échantillons de sang de bovins. Puis en comparant nos résultats nous avons entrevu une relation entre la qualité des fourrages et le taux du calcium et du phosphore dans le sérum des animaux.

Notre travail est modeste, il a nécessité des déplacements nombreux, et nous n'avons pu étendre notre enquête au nombre d'exploitations que nous nous étions proposé. Il était dans notre intention, au départ de notre travail, d'expérimenter d'une part sur du bétail, vivant sur des terrains pauvres, d'autre part sur du bétail entretenu sur des terrains améliorés, de manière à faire d'utiles comparaisons. Nous ne présentons ici que la première partie de notre projet, nous eussions souhaité ce travail plus complet, mais de nombreuses difficultés nous empêchèrent de pousser nos investigations aussi loin que nous le désirions. Cependant nous avons pu extraire de notre enquête quelques idées, ici présentées et nous nous estimerons heureux si la science vétérinaire peut trouver dans notre travail une faible contribution à l'étude d'un problème que d'autres plus capables que nous réussiront à résoudre dans l'intérêt de l'économie rurale.

C'est pour nous un agréable devoir de témoigner ici notre reconnaissance à M. le Professeur Brion qui nous a obligeamment permis d'effectuer nos analyses dans son laboratoire de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, et qui a bien voulu nous honorer de ses conseils dans l'élaboration de notre travail.

Nous tenons également à exprimer à M. le Docteur Fiancette, de l'Arbresle, nos respectueux remerciements pour l'aide bienveillante qu'il nous a apportée en nous présentant un grand nombre d'éleveurs chez lesquels nous avons effectué nos prélèvements.

Enfin, nous ne saurions oublier Mlle Margotton, qui nous a aimablement initié à la technique des dosages de calcium, de phosphore et de phosphatases.

Notre plan d'étude sera le suivant :

- I. — Etude du Milieu.
- II. — Mode de prélèvements et de dosages.

III. — Résultats des dosages.

- A) Observations faites sur des bovins appartenant à 21 exploitations.
 - B) Analyse des fourrages provenant des différentes exploitations.
 - C) Discussion :
 - la calcémie,
 - la phosphatémie,
 - le rapport phosphocalcique,
 - la phosphatasémie.
-

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE DU MILIEU

CHAPITRE PREMIER

GÉOGRAPHIE

Nos prélèvements ont été réalisés dans des exploitations appartenant à dix communes. Du point de vue géographique, on peut classer ces communes en trois groupes.

- Le premier groupe, constitué par les communes de Lentilly (avec son hameau de Mosœuvre), d'Eveux, de Sourcieux, occupe un vaste plateau qui continue au Nord-Est la chaîne d'Yzeron, premier contrefort des Monts du Lyonnais. C'est ce plateau que l'on est obligé de franchir quand, venant de Lyon, on emprunte la route de Bordeaux ou la route de Roanne. Cette chaîne plus élevée, et aussi plus accidentée au Sud, dans la région de Vaugneray, apparaît autour de Lentilly comme un plateau monotone qui surplombe nettement deux vallées, celle du Rhône à l'Est, celle de l'Azergues au Nord-Ouest.

- Dans la vallée de la Brevenne se place le deuxième groupe de communes. L'Arbresle, très encaissé, au confluent de la Turdine et de la Brevenne, est un carrefour important de routes. Les deux

vallées de la Brevenne et de la Turdine constituent, en effet, deux importants axes de circulation. Sain-Bel et Brussieu, en amont sur la Brevenne, font également partie de ce groupe.

- Enfin, le dernier groupe de communes prospectées se situe sur un nouveau plateau plus ou moins accidenté qui s'étend du Forez à la petite vallée de la Turdine. Dans ce groupe entrent les communes de Saint-Laurent-de-Chamousset, Saint-Julien-sur-Bibost et Saint-Romain-de-Popey.

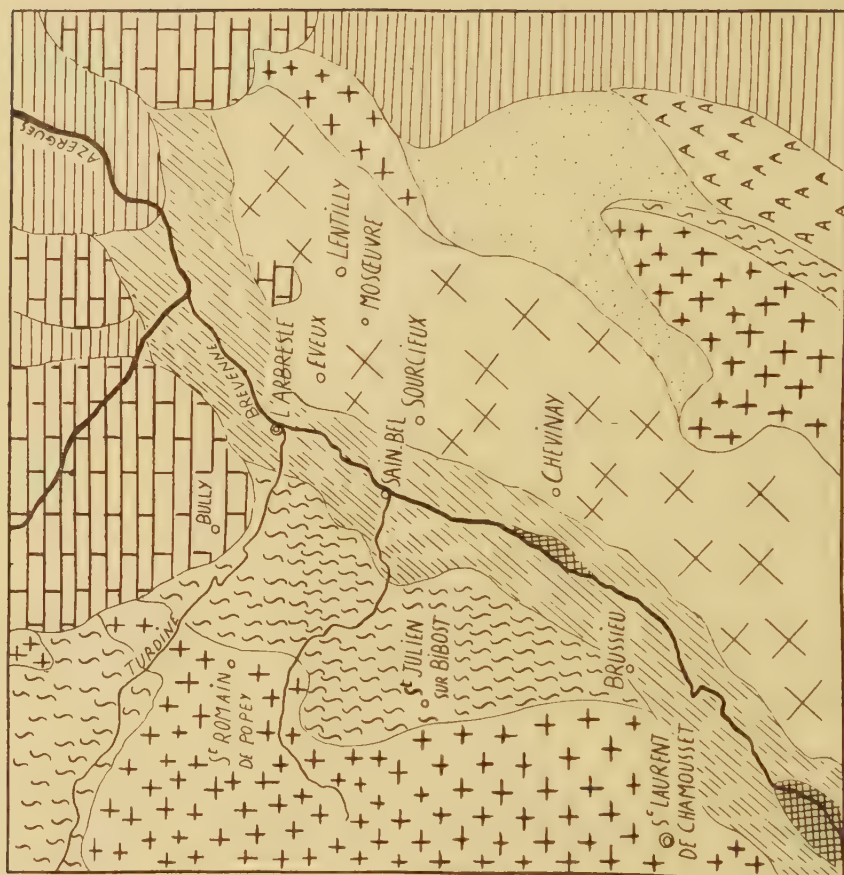
CHAPITRE II

GÉOLOGIE

Elle explique la géographie : notre premier groupe de communes est solidement assis sur un sous-sol composé de gneiss granulitiques et glandulaires que l'on rencontre partout dans la chaîne d'Yzeron.

La vallée de la Brevenne présente un sous-sol de schistes chloriteux plus tendres que les gneiss. Enfin, les terrains granitiques occupent une vaste étendue de Saint-Laurent-de-Chamousset à Tarare, et sont bordés à l'Est de schistes anciens feldspathiques et micacés.

Les terrains anciens, formés au cours des temps primaires, occupent donc toute la région (cf. carte ci-dessous).



- ALLUVIONS
- TERRAINS CALCAIRES et MARNEUX JURASSIQUES
- TERRAINS CARBONIFERES SUPERIEUR et INFERIEUR
- SCHISTES ANCIENS FELDSPATHIQUES et MICACEUX
- SCHISTES CHLORITEUX de la BREVENNE
- GNEISS GRANULITQUES et GRANULEUX de la Chate de J. YZERON
- GNEISS FINS avec AMPHIBOLITES et LIPOLINS
- GNEISS GRANITQUES à CORDIERITE de CRAPONNE
- GRANITS divers

CHAPITRE III

LES SOLS

Comme le montrent les deux tableaux suivants, les terres acides sont très nombreuses dans la région, les sols sont déficitaires en acide phosphorique ou en potasse, et bien des terres sont pauvres en ces deux éléments.

pH des Sols (1)

Communes	Nombre de dosages	Acides	Neutres	Basiques	pH moyen
L'Arbresle	3	1	0	2	6,9
Chevinay	13	12	1	0	6,4
Eveux	24	23	1	0	6,2
Lentilly	21	21	0	0	6,1
Sain-Bel	4	4	0	0	6,3
Saint-Julien-sur-Bibost	36	32	2	2	6,1
Sourcieux	36	33	0	3	5,9
Brussieu	20	20	0	0	6,2
St-Laurent-de-Chamousset	31	31	0	0	6,1
Saint-Romain-de-Popey	37	36	0	1	6,1

(1) Extraits du tableau des résultats des mesures systématiques du pH des sols du Rhône, effectués par les Services Agricoles avec l'aide de leurs correspondants et du Laboratoire départemental agricole, viticole et œnologique de Villefranche-sur-Saône.

Acide phosphorique et Potasse (1)

Communes et nombre total de dosages	Acide phosphorique P ₂ O ₅		Potasse K ₂ O	
	Nombre de dosages < M	Nombre de dosages ≥ M	Nombre de dosages	Nombre de dosages
L'Arbresle, 3.....	2	1	1	2
Eveux, 24.....	14	10	19	5
Lentilly, 21.....	13	8	17	4
Sain-Bel, 4.....	3	1	4	0
Saint-Julien-sur-Bibost, 36.....	32	4	18	5
Sourcieux, 36.....	29	7	25	11
Brussieu, 9.....	8	1	9	0
Saint-Laurent-de-Chamousset, 31.....	27	4	12	19
Saint-Romain-de-Popey, 37.....	24	13	23	14

(1) Extraits du tableau des résultats des dosages systématiques des teneurs des sols du Rhône en acide phosphorique (P₂ O₅) et en potasse (K₂ O), effectués par les Services Agricoles du Rhône avec l'aide de leurs correspondants et du Laboratoire départemental agricole viticole et œnologique de Villefranche-sur-Saône.

N. B. — Les dosages ont été séparés en deux groupes : teneurs au-dessous de la moyenne (sols pauvres ou très pauvres) ; et teneurs égales ou supérieures à la moyenne (sols moyens ou riches). La moyenne M correspond pour l'acide phosphorique aux indices Barbier-Morgon (mg par litre de filtrat) = 4 (sols acides), 8 (sols moyens), 16 (sols très calcaires), et pour la potasse aux indices 40 (sols légers) et 30 (sols argileux). Pour les dosages de laboratoire, M a été pris pour les deux éléments à 0,25 pour 1.000 de terre.

CHAPITRE IV

LE BÉTAIL

Le bétail de la région est surtout composé d'animaux qui s'apparentent à la race pie-rouge de l'Est. D'ailleurs, très peu de bovins sont de race pure, et nous sommes en présence d'une population bovine d'un aspect hétérogène : l'influence des races Salers et Ferrandaise, autrefois fréquentes dans la région, se fait encore sentir, surtout dans le canton de Saint-Laurent-de-Chamousset.

Dans ce canton, le lait est surtout employé pour l'élevage du veau de boucherie. Les marchés de Saint-Laurent-de-Chamousset sont, en effet, réputés pour leurs veaux qui sont d'excellentes bêtes de boucherie. Beaucoup de propriétaires de la région se sont adressés à des taureaux de la race charolaise pour effectuer les saillies : les mères sont donc puissantes, quelques-unes ont encore la conformation des vaches ferrandaises. L'excédent de la production laitière est soit livré aux ramasseurs de lait, soit travaillé sur place et transformé en beurre. Le petit lait sert à l'alimentation des porcs (élevage familial) ou des truies gestantes, très nombreuses.

Dans le canton de l'Arbresle l'économie est un peu différente. La région, proche de l'agglomération lyonnaise, fournit son lait à la ville voisine. La possibilité d'écouler facilement le lait brut a entraîné un changement important dans la nature du bétail.

L'implantation de la race hollandaise a été tentée : ceci à cause de la politique laitière, qui fait que la quantité est plus rentable que la qualité. Mais les propriétaires se sont vite rendu compte des exigences de ces animaux, qui, placés dans un milieu ne leur convenant pas, nourris avec des fourrages de qualité médiocre, enfermés dans des étables trop souvent insalubres, au contact

d'animaux contaminés, se sont révélés fragiles et ont contracté très souvent une tuberculose évolutive.

D'autre part, ces producteurs de lait qui possèdent en moyenne six à huit vaches ne devaient pas oublier qu'un animal, destiné à être réformé quand sa production laitière devient insuffisante, doit pouvoir s'engraisser et être vendu à la boucherie, ce qui permet au producteur de renouveler son cheptel sans trop de perte : le budget de ces petites exploitations est, en effet, assez serré. On voit donc, qu'en définitive la race hollandaise ne doit pas se développer outre mesure dans la région. Beaucoup de propriétaires l'ont déjà compris et aujourd'hui le changement d'orientation de l'industrie laitière, qui s'intéresse de plus en plus à la recherche de la qualité, doit les encourager dans la voie où ils se sont engagés : améliorer leur bétail grâce à l'insémination artificielle. D'autres producteurs se sont adressés à des régions d'élevage (Jura, Isère) pour acheter leurs nouveaux animaux. Ils ont choisi la race Montbéliarde plus rustique que la race hollandaise mais néanmoins très bonne laitière.

Parmi les exploitations que nous avons prospectées, cinq d'entre elles entretiennent des bovins qui sont inscrits au Herd-book Montbéliard. Cependant, ces exploitations sont l'exception et l'état général des animaux de la région laisse à désirer. Trop de sujets ont encore une production laitière médiocre parce que souvent le paysan s'intéresse surtout à la production de veaux vendus pour la boucherie, et entretient sur ses pâturages un nombre de vaches trop élevé : la production serait bien augmentée si les vaches de garde étaient moins nombreuses et meilleures laitières.

Du point de vue pathologique, nous mentionnerons succinctement les maladies par carence les plus fréquemment rencontrées dans la région. Tout d'abord, les cas de stérilité sont nombreux. Beaucoup de génisses élevées dans la région sont frigides, on rencontre également de nombreux cas d'anoestrus chez les vaches après le vélage. Les paraplégies ante-partum et post-partum, les cas de fièvre vitulaire sont fréquents. Des cas de pica au sortir de l'hiver ont été rencontrés et l'hématurie essentielle des bovins sévit en permanence dans certaines localités.

DEUXIÈME PARTIE

LES PRÉLÈVEMENTS ET LEUR DOSAGE

CHAPITRE PREMIER

MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENT

Les échantillons de sang

Pour effectuer ces prélèvements de sang, nous nous sommes adressés, par l'intermédiaire du vétérinaire de la région, à des propriétaires qui ont bien voulu nous laisser expérimenter sur leur bétail. Il fallait pour chaque animal deux échantillons de sang :

— 10 cc. de sang complet pour effectuer le dosage du calcium à partir du sérum.

— quelques cc. de plasma pour effectuer le dosage du phosphore et des phosphatases.

L'obtention de ce dernier échantillon a posé un problème important. En effet, le sang des bovins sédimente très mal.

Avant de commencer notre série de déplacements, nous avons fait au laboratoire les remarques suivantes : il faut plusieurs heures pour obtenir par la simple sédimentation deux cc. de plasma nécessaires au dosage du phosphore à partir de l'échantillon suivant :

— 1 cc. d'une solution d'oxalate de sodium à $\frac{1}{100}$ + 9 cc. de sang de bovin.

Cette attente pouvait provoquer de graves erreurs dans le dosage des phosphates et des phosphatases qui doit être fait à partir d'un échantillon frais.

Pour activer le processus de sédimentation il aurait été possible d'employer une centrifugeuse à main, mais, là encore nous nous sommes heurtés à une impossibilité d'ordre pratique : pour chaque échantillon de sang additionné d'oxalate de sodium, il fallait vingt minutes de centrifugation pour obtenir deux cc. de plasma. Il restait une seule solution : effectuer le plus rapidement possible les prises de sang et les ramener aussitôt au laboratoire qui disposait d'une centrifugeuse électrique.

Ainsi, il nous était possible de mener de front 16 dosages : nous avons donc rapporté lors de chaque déplacement de 10 à 16 échantillons.

Nous avons relevé pour chaque bovin l'âge, le temps passé par l'animal dans l'exploitation, l'état de gestation, la production laitière approximative.

Les échantillons de fourrage

Nous nous sommes efforcés de prélever un échantillon moyen provenant des différentes prairies de l'exploitation, ou, quand cela était possible, un échantillon de fourrage employé depuis plusieurs jours dans la ration quotidienne des animaux.

Dans la plupart des exploitations la base de l'alimentation était constituée par le fourrage prélevé, et même dans de nombreux cas il constituait la totalité de la ration. En effet, nous nous sommes le plus souvent adressés à de petits exploitants chez qui les principes d'élevage et d'entretien des animaux n'avaient pas évolué depuis des générations.

CHAPITRE II

MÉTHODES DE DOSAGE UTILISÉES

DOSAGE DU CALCIUM

Méthode de M. B. Drevon et Mlle Mandon.

Elle utilise la photométrie de la réaction Complexone-Murexide. Cette méthode, récemment mise au point, est très rapide et permet une précision au moins égale aux micro-méthodes déjà connues.

Matériel nécessaire :

- une microburette de 1 ou 2 cc. graduée en centièmes.
- plusieurs tubes à hémolyse de 5 à 7 cc. très propres, pouvant se placer dans un colorimètre photoélectrique.
- un colorimètre photoélectrique muni d'un écran vert filtrant les radiations de $520\text{ m}\mu$ environ.

Réactifs :

- 1) La solution-mère de calcium à 1 g. p. 1.000.

Dans une fiole de 500 cc., jaugée à $+20^{\circ}\text{C}$. et vérifiée, introduire sans perte 1,250 gr. de CO_3Ca pur et desséché. Cette solution est attaquée par ClH en très léger excès. Lorsque la dissolution est totale, compléter au trait de jauge avec de l'eau bidistillée à 20°C .

Cette solution peut être conservée en flacon « Polythène » pendant au moins 40 jours sans perte de titre.

2) La solution étalon de Ca^{++} à 0,01 mg. p. 100 cc.

Au moment du dosage, préparer extemporanément la solution étalon en diluant avec soin 5 cc. de solution-mère dans 50 cc. d'eau bidistillée.

3) La solution titrée de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétracétique (E.D.T.A.).

Ce sel se trouve dans le commerce dans un état suffisant de pureté pour préparer, au laboratoire, par pesée directe à la balance de précision une solution aqueuse (eau bidistillée) 0,002 M à 0,7442 g. p. 1.000 et dont 1 cc. correspond à 0 000040 g. (40 μ g.) de Ca).

Cette solution permet théoriquement un dosage direct, par lecture volumétrique. Dans la pratique, on emploie une solution à 0,002 M. qui, restant stable pendant quelques semaines, permet d'obtenir des résultats assez précis.

4) Indicateur murexide.

C'est une solution aqueuse saturée, préparée extemporanément par 5 à 10 cc. à la fois et filtrée sur coton de verre serré. Son titre exact est sans importance. La solution est rejetée après l'emploi.

5) Hydroxyde de sodium.

C'est une lessive de soude « à l'alcool » au titre approximatif de 8 N.

6) Eau bidistillée : elle doit être fraîche, ou conservée en flacons « pyrex ».

Principes.

Dans cette méthode de dosage, on utilise la photométrie de la réaction Complexone-Murexide ; deux principes peuvent, a priori, être retenus.

1° Tout d'abord, l'emploi de la murexide seule. La murexide, sel d'ammonium de l'acide isopurpurique, indicateur des ions Ca^{++} est connue depuis le travail de B. Beilstein en 1858.

2° L'emploi du sel sodique de l'acide éthylène-diamine-tétracétique, plus connu sous le nom de « complexone III » de Schwarzenbach, de « Trilon B », de « Versène ».

Dans le premier cas on utilise le virage de la murexide, du violet à l'orangé en présence de Ca^{++} . Ses conditions d'em-

ploi en biologie ont été précisées par Raaflaub, qui a insisté sur la nécessité d'un pH et d'une forme ionique déterminés. Mais il ne semble pas être parvenu, même en faisant usage d'un colorimètre photoélectrique, à rendre la méthode utilisable au dosage de la calcémie. Aux difficultés de la colorimétrie en milieu de pH et de concentration saline bien définis, s'ajoutent celles dues à la présence constante du Mg qui interfère.

De là découle une diminution importante de la sensibilité de la réaction, inconvénient rédhibitoire lorsque l'analyse porte sur des milieux biologiques où les teneurs en Ca sont faibles et les volumes des prises d'essais limités.

Par contre, l'usage du Complexone III repose sur un principe tout différent. Le cation Ca^{++} est amené à former un anion complexe interne, « chélate », dans lequel il est complètement dissimulé à ses réactifs et en particulier à la murexide. La condition de formation du complexe chélaté du Ca avec le sel disodique de l'acide éthylène-diamine-tétracétique est un pH très alcalin, supérieur à 12.

La murexide est ajoutée dans la solution calcique tamponnée à $\text{pH} \geq 12$ par de la soude. Le milieu prend une teinte orangée caractéristique de Ca^{++} . Il est versé, à la burette, dans une solution titrée de Complexone. Dès que la totalité du calcium est « complexée », la murexide reprend sa coloration violette propre ; c'est, ici, le virage de l'orangé au violet qui sert d'indicateur de fin de réaction. L'essentiel de la méthode consiste :

— D'une part, dans l'usage systématique d'un colorimètre photoélectrique, pour suivre le virage de la murexide et déterminer graphiquement le point de virage.

— D'autre part, et ceci grâce à la rapidité des opérations, dans la comparaison systématique, lors de chaque série de dosages, de la réaction obtenue avec celle d'une solution titrée étalon de calcium de titre voisin.

Technique.

Dans un tube à hémolyse, on mesure exactement, avec une pipette spéciale (vérifiée par pesée de mercure), 0,5 ou 1 cc. de sérum. On ajoute 2 cc. d'eau bidistillée, 1 à 2 gouttes de murexide et 2 gouttes de lessive de soude. On prépare aussitôt un deuxième tube identique qui permettra :

a) de juger grossièrement des modifications de couleur du contenu du tube n° 1.

b) de faire ultérieurement un second dosage contrôlant le premier. La solution titrée d'E.D.T.A. est introduite par fraction de 0,1 à 0,2 cc. au début, soit en comptant le nombre de gouttes, soit en mesurant les volumes à la burette. Lorsque le virage paraît proche on suit au photo-colorimètre, les variations de la densité optique après chaque affusion d'E.D.T.A. Après avoir mélangé les liquides (si l'on mélange « par renversement », utiliser un doigtier de caoutchouc), on peut, pour plus de rapidité, porter directement sur un papier millimétré, la densité optique (divisions du tambour gradué de l'appareil) en fonction du volume ou du nombre de gouttes.

La construction graphique donne deux demi-droites, l'une descendante correspondant au virage progressif de l'indicateur, l'autre sensiblement horizontale qui correspond au palier que l'on obtient en continuant les affusions d'E.D.T.A. et les lectures photométriques, après avoir obtenu le virage. L'abscisse du point d'intersection des deux demi-droites permet de connaître (à $\pm 0,01$ cc. près) le volume de solution utilisé.

Toutes ces opérations, plus longues à décrire qu'à exécuter, ne demandent que quelques minutes. On fait une seconde mesure sur le contenu du tube n° 2.

Ce même mode opératoire est suivi en partant de 0,5 ou 1 cc. de solution étalon de Ca, additionnée exactement des mêmes quantités d'eau, de soude et d'indicateur que pour le sérum précédemment analysé. Pour toutes ces opérations de comparaison, on utilise les mêmes pipettes jaugées.

Soient n_s et n_t les abscisses du point de virage de l'essai (sérum) et du témoin. La teneur en Ca $++$ du sérum est donnée, avec une approximation ± 1 p. 100 par l'expression :

$$\text{Ca } ++ = \frac{(100, n_s) 0,98}{n_t}$$

Le coefficient 0,98 permet l'obtention d'un résultat exact, le résultat brut étant légèrement faussé du fait des protéines sériques.

Dosage du phosphore minéral et des phosphatases sanguines

Méthode de A. Bodansky, modifiée par Paul Meunier et Yves Raoul.

Principe.

Il est fondé sur le dosage parallèle du phosphore minéral du plasma sanguin avant et après l'addition d'un substrat renfermant un large excès de glycérphosphate de sodium. La différence de phosphore minéral constatée entre les deux dosages mesure l'hydrolyse effectuée par les phosphatases du sang.

Mesure de l'activité phosphatasique.

Nous employons la technique de Paul Meunier en raison de sa relative simplicité et de la possibilité que nous avons d'utiliser un électromètre de sa conception.

1°) On opère sur le plasma afin d'éviter les phénomènes de phosphominéralisation autonome du sang provenant de l'hydrolyse des esters phosphoriques des globules.

2°) On fait agir la phosphatase du plasma qui serait surtout une phosphatase β sur le β -glycérphosphate de sodium et dans les conditions optima d'action, c'est-à-dire pH : 8,5 à 38° ainsi qu'il est réalisé dans la technique de Bodansky à l'aide d'un tampon de diéthylbarbiturate sodique.

3°) On se contente d'un temps d'action d'une heure dans une étuve à thermostat, de manière à éviter une disproportion trop grande et préjudiciable au dosage entre les quantités de P minéral préexistant et néoformé.

Ainsi, même dans le cas de très grande activité phosphatasique, l'enzyme se trouve toujours en présence d'un grand excès de substrat. Les conditions d'action se trouvent ainsi aussi identiques que possible d'un sang à l'autre.

4°) L'unité adoptée est celle proposée par Bodansky, la plus répandue actuellement ; elle s'exprime par le nombre de milligrammes de phosphore libérés par 100 cc. de plasma agissant pendant une heure à 38° sur un substrat renfermant un large excès de β -glycérphosphate de sodium à pH 8,6.

Dosage du phosphore minéral.

La méthode la plus sensible, en vue d'un sub-microdosage, est celle qui mesure l'intensité de la coloration bleue du complexe phosphomolybdique réduit. On emploie les réducteurs du type photographique qui permettent la préparation de réactifs de conservation assez longue. Dans les conditions du dosage et aux doses de phosphore rencontrées, l'intensité des colorations suit parfaitement la loi de Beer.

Sub-microdosage des phosphatases du plasma.

— Réactifs :

1° Substrat de Bodansky.

Glycérophosphate de sodium	2,5 g.
Diéthylbarbiturate de sodium.....	2,12 g.
Eau bidistillée q.s.p.....	100 cc.

2° Solution de NaCl à 1,8 p. 100.

3° Acide trichloracétique à 25 p. 100.

4° Réactif A :

Molybdate d'ammonium	2,5 g.
Acide sulfurique (5 N).....	100 cc.

5° Réactif B :

Sulfate de monométhylparamidophénol	0,5 g.
SO ³ NaH à 15 p. 100	195 cc.
SO ³ Na ² à 20 p. 100.....	5 cc.

Toutes les solutions sont faites dans l'eau bidistillée.

— Mode opératoire :

Dans une fiole jaugée de 5 cc., on mélange :

Fiole T :

Substrat réchauffé .	1 cc.
NaCl à 1,8 p. 100.....	0,1 cc.
Eau bidistillée	0,1 cc.
CCl ³ COOH à 25 p. 100.....	0,2 cc.

Dans deux tubes à centrifuger, on verse :

Tube N° 1 :

NaCl à 1,8 p. 100.....	0,1 cc.
Plasma .	0,1 cc.

Tube N° 2 :

Substrat réchauffé à 38°.....	1 cc.
NaCl à 1,8 p. 100.....	0,1 cc.
Plasma	0,1 cc.

On porte le tube N° 2 pendant une heure à l'étuve à 38°. A la sortie de l'étuve, le tube est plongé dans l'eau glacée, qui arrête l'action des phosphatases.

On ajoute dans le tube N° 1 : 1 cc. de substrat, puis dans les tubes 1 et 2 : 0,2 cc. d'acide trichloracétique. Ensuite, on centrifuge.

On décante dans des fioles jaugées de 5 cc., et au culot est ajouté 0,1 cc. d'acide trichloracétique à 25 p. 100. Après mélange et nouvelle centrifugation, on décante dans les fioles de 5 cc. correspondantes.

On ajoute enfin dans les fioles T₁ 1 et 2 :

Solution A	1,5 cc.
Solution B	1,5 cc.
Eau bidistillée q.s.p.	5 cc.

On agite et laisse reposer une demi-heure à la température du laboratoire avant de faire la lecture à l'électrophotomètre. (Nous avons employé la cuve de 10 mm. et un diaphragme réglé à 9 avec une longueur d'onde correspondant au rouge.)

— Calcul :

Soient n , N et N' les chiffres lus sur le tambour de l'électrophotomètre pour les fioles T₁ 1 et 2 :

$$P \text{ minéral dans 1 cc.} = (N - n) \times m.$$

P libéré par les phosphatases en unité Bodansky :

$$(N' - N) \times m/10.$$

n représente l'absorption due à la cuve remplie avant l'apparition de la coloration bleue.

m est la variation de concentration qui correspond à une division du tambour. Elle s'exprime par exemple en milligramme ou en dixième de mg. par cc. Le calcul de m s'effectue une fois pour toutes pour une cuve, un écran donné et pour les réactifs que l'on vient de préparer : c'est la moyenne de 4 à 5 déterminations faites sur des concentrations différentes et connues. Il faut pour cela une solution étalon contenant 0,4 mg. de P par 5 cc. (80 mg. par litre).

— Préparation de la solution étalon :

On fait dissoudre 0,3509 g. de phosphate monopotassique pur dans l'eau bidistillée, et on verse dans un flacon gradué à 1 litre ; on ajoute 10 cc. de SO^4H^2 10 N, et on complète à 1 litre avec de l'eau bidistillée.

0,1 cc. de cette solution contient 0,008 mg. P. de phosphore.

— On prépare deux autres solutions en mettant :

- 30 cc. de solution étalon dans 70 cc. d'eau ; 0,1 cc. de cette solution contient 0,0024 mg. de P ;

- 80 cc. de solution étalon dans 20 cc. d'eau ; 0,1 cc. de cette solution contient 0,0064 mg. de P.

Mais les réactifs A et B ne sont pas très stables. Il se produit vite une réduction de l'intensité de la coloration du complexe phosphomolybdique et ceci, pour une même dose de phosphore. Aussi, le facteur dépendant de l'étaonnage, doit être souvent recalculé.

Pour pallier cet inconvénient, les réactifs A et B sont remplacés par ceux qui sont employés dans la méthode de Briggs sans que les résultats soient altérés, puisque seules les conditions d'hydrolyse sont significatives.

— Réactif molybdique :

On dissout 25 g. de molybdate d'ammonium dans 300 cc. d'eau bidistillée.

On ajoute à la solution :

SO^4H^2 concentré : 75 cc.,

eau bidistillée : 125 cc.

— Solution aqueuse d'hydroquinone à 1 p. 100, plus 1 goutte de SO^4H^2 concentré pour éviter l'oxydation.

— Solution aqueuse de sulfite de sodium à 20 p. 100.

Après centrifugation et décantation dans les fioles T, 1 et 2, on ajoute de ces trois solutions :

Solution molybdique 1 cc.

Solution d'hydroquinone 1 cc.

Solution de sulfite de Na 1 cc.

Eau bidistillée q.s.p. 5 cc.

La lecture est faite 30 minutes après, comme dans la méthode précédente.

TROISIÈME PARTIE

RÉSULTATS DES DOSAGES

CHAPITRE PREMIER

OBSERVATIONS FAITES SUR DES BOVINS APPARTENANT A XXI EXPLOITATIONS

TABLEAU I
(1-4-1954)

M. F..., à Comb., Saint-Laurent-de-Chamousset.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	41	89	6,3
2	32	92	2,5
3	28	85	3,1
4	27	76	2,5
5	41	96	1,1
6	29	82	3,9

Moyenne : 33 Moyenne : 86,6

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,6$$

TABLEAU II
(1-9-1954)

M. F..., à S.B.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	31	92	2,5
2	52	92	1,3
3	49	91,5	5,2
4	50	93	0,6
5	42	96	0,8
6	34	100	1,1
7	28	99	1
8	39	86	3,8
9	34	96	3,2
10	43	96	0,8
11	49	101	3,6
12	27	66	3,1
13	60	101	5,2
14	38	94	3,8

Moyenné : 41 Moyenne : 93,5

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,26$$

TABLEAU III
(25-9-1954)

M. L... à C.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	35	97	1,7
2	28	89	0,8
3	39	97	2,1
4	50	94	1,3
5	42	93	1,3
6	27	90	1,3

Moyenne : 37 Moyenne : 93

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,5$$

TABLEAU IV
(25-10-1954)

M. I... à C.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	49	89	1,3
2	46	91	1,5
3	48	89	7,3
4	48	90	13,7

Moyenne : 47 Moyenne : 90

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,9$$

TABLEAU V
(29-9-1954)

M. G... à St-R.-de-P.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	36	102	4,2
2	42	102,5	3,1
3	45	97	3,3
4	45	105	15,4
5	32	97	2
6	41	104,5	2
7	50	97	3,1
8	43	93	6,4
9	38	100	13
10	46	100	2,7
11	62	94	3,1
12	38	102,5	2,1
13	31	96	10,2
14	43	100	5,5

Moyenne : 42,2 Moyenne : 92,2

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,18$$

TABLEAU VI
(2-10-1954)

M. P..., St-J.-sur-B.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	42	98	6,4
2	34	104	1,8
3	32	104,5	1
4	46	93,50	3,4
5	34	93	3,8
6	71	86	1,7
7	50	98	1
8	46	101	2,1

Moyenne : 44,3 Moyenne : 97

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,19$$

TABLEAU VII
(2-10-1954)

M. F..., St-J.-sur-B.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	35	108	1,4
2	36	101	7,6
3	35	89	2,5
4	29	97	1,5
5	31	90	3,6
6	33	101	2,1
7	41	101	9,2
8	28	90	1

Moyenne : 33,5 Moyenne : 97

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,9$$

TABLEAU VIII
(15-11-1954)

M. L... à L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	46	85	1,55
2	55	98	2,7
3	40	96	4,1
4	45	101	2
5	48	97	1,8
6	45	91	2,1
7	40	99	1,45
8	60	100	2,55
9	49	104	3,8
10	53	100	1,9
11	49	108	4,2
12	54	98	2
13	37	103	2,7
14	38	100	1,8
15	44	96	1,7

Moyenne : 47 Moyenne : 99

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 2,1$$

TABLEAU IX
(19-11-1954)

M. G..., à L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
—	—	—	—
1	65	96	2,6
2	54	103	3,8
3	49	103	3,5
4	56	108	5,2
5	70	91	3,7
6	39	105	6,5
7	49	102	5,9
8	37	103	1,8
9	42	104	3,5
10	24	105	2,1
11	34	102	2,1
12	39	113	1,6
13	36	94	1,5
14	42	116	2
15	35	104	3,9
16	58	105	2,2

Moyenne : 45 Moyenne : 104

Rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ = 2,3

TABLEAU X
(2-12-1954)

M. J.B. G... à M.-L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	36	100	1,7
2	47	106	2
3	42	106	2,5
4	45	105	0,9
5	46	101	20,2
6	55	103	8,4
7	65	103	7,3
8	73	114	3,6
9	65	103	1,8

Moyenne : 53 Moyenne : 104

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,96$$

TABLEAU XI
(2-12-1954)

M. P... à M.-L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	60	93	2
2	54	104	2,2
3	57	99	2
4	48	101	4
5	65	105	0,55

Moyenne : 57 Moyenne : 100

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,75$$

TABLEAU XII
(2-12-1954)

M. D... à L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	49	96	2,8
2	52	108	1,9
3	76	104	0,8

Moyenne : 59 Moyenne : 102

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,76$$

TABLEAU XIII
(29-12-1954)

M. L... à Ev.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	75	92	2,4
2	184	101	23,6
3	83	99	2,1
4	84	105	0,9
5	71	103	0,9
6	93	99	1,45
7	77	99	1,2
8	93	103	12,8

Moyenne : 95 Moyenne : 100

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,05$$

TABLEAU XIV
(29-12-1954)

M. M... à Ev.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	99	84	1,1
2	88	94	1,9
3	75	95	2,9
4	92	89	5
5	68	96	1,7
6	76	90	3,3

Moyenne : 83 Moyenne : 91,3

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,1$$

TABLEAU XV
(20-1-1955)

M. D. du C... à B.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	85	106	3,7
2	59	88	6,8
3	69	95	1,7
4	75	140	1,6
5	67	88	3,7
6	60	98	8
7	74	105	2,1
8	67	103	1,7
9	69	99	18,5
10	97	103	1,8
11	86	101	1,9
12	95	101	7,3
13	77	88	0,6
14	57	99	1,5
15	67	92	3,2
16	91	103	2

Moyenne : 75,3 Moyenne : 100

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,32$$

TABLEAU XVI
(28-1-1955)

M. B... à M.-L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	60	100	1,3
2	55	101	4,4
3	83	103	3,4
4	78	98	1,6
5	65	103	3,2
6	87	103	2,3
7	96	93	4,6

Moyenne : 74,9 Moyenne : 100

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,35$$

TABLEAU XVII
(28-1-1955)

M. M... à M.-L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	82	105	3,6
2	70	105	1,8
3	66	103	2,9
4	87	96	16,9

Moyenne : 76,2 Moyenne : 102

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,34$$

TABLEAU XVIII
(28-1-1955)

M. H... à M.-L.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	68	104	2,4
2	62	99	1,9
3	59	105	1,1
4	63	105	3,5

Moyenne : 63 Moyenne : 103

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,63$$

TABLEAU XIX
(15-2-1955)

M. D... à B.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	57	96	5
2	68	99	1,2
3	59	98	2,7
4	60	99	13
5	78	97	1,4
6	58	101	1,4
7	58	103	1,4
8	53	103	3,4
9	39	105	4,5
10	52	107	24,8
11	61	96	27,8
12	70	93	3,8
13	65	107	4,6
14	52	100	3,5
15	60	105	4,2
16	56	97	20,5

Moyenne : 59 Moyenne : 100

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,69$$

TABLEAU XX
(17-3-1955)

M. P... au C. St-L. de C.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	77	102	10,5
2	76	98	7,7
3	88	97	4,5
4	81	95	5,9
5	85	91	5,2
6	65	104	6
7	74	96	9
8	73	97	8,5
9	101	104	3,5
10	111	104	9,9

Moyenne : 83,1 Moyenne : 98,8

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,18$$

TABLEAU XXI
(17-3-1955)

M. V... au G.C. Stl.

Vaches N°	P mg/L	Ca mg/L	Phosphatases U.B.
1	77	97	1,9
2	73	108	5
3	83	96	26,7
4	79	105	2
5	75	104	17,6
6	84	102	3,5
7	65	104	4,6
8	80	104	4,5
9	81	104	7,4

Moyenne : 77,4 Moyenne : 102

$$\text{Rapport } \frac{\text{Ca}}{\text{P}} = 1,32$$

CHAPITRE II

ANALYSE DE FOURRAGES PROVENANT DE DIFFÉRENTES EXPLOITATIONS

Expl. N°	Mat. Min.	Humidité	P %	Ca %	Ca P four.	Ca P sang.
I	5,73	—	0,08	0,52	6,5	2,6
II	4,17	—	0,08	0,47	5,8	2,26
III	6,05	—	0,115	0,76	6,6	2,5
IV	7,4	—	0,145	0,71	4,9	1,9
V	5,73	9,9	0,08	0,47	5,8	2,18
VI	5,92	—	0,125	0,71	5,6	2,19
VII	6,85	—	0,12	0,83	6,9	2,9
VIII	6,4	9,5	0,11	0,76	6,9	2,1
IX	5,85	10,4	0,10	0,71	7	2,3
X	6,3	11,3	0,18	0,96	5,3	1,96
XI	5,6	11,4	0,12	0,60	5	1,75
XII	4,95	10,70	0,16	0,80	5	1,76
XIII	—	9	0,11	0,70	6,37	1,05
XIV	—	12	0,32	0,80	2,5	1,1
XV	—	8,75	0,16	0,60	3,75	1,32
XVI	—	8,75	0,10	0,50	5	1,35
XVII	—	9,9	0,19	0,85	4,4	1,34
XVIII	6,35	—	0,18	0,64	3,55	1,63
XIX	—	8,8	0,17	0,65	3,82	1,69
XX	5,04	—	0,28	0,59	2,10	1,18
XXI	4,9	9	0,16	0,70	4,37	1,32

CHAPITRE III

DISCUSSION

I. — LA CALCÉMIE

Pour situer notre étude sur la calcémie, nous allons rappeler par un rapide tableau, la répartition du calcium dans l'organisme. Le calcium total de l'organisme se présente :

1° Sous une forme diffusible : calcium actif ($\approx 1\%$ du calcium total) qui comprend :

- le calcium ionisé, c'est-à-dire possédant une charge électrique positive simple ou double,
- le calcium diffusible mais non ionisé.

2° Sous une forme non diffusible : calcium de réserve ($\approx 99\%$ du calcium total) que l'on divise ainsi, d'après Daniel :

réserve de première ligne : calcium protidique non diffusible,
réserve de deuxième ligne : calcium de réserve des épiphy-
ses,

réserve de troisième ligne : calcium de réserve du cortex,
réserve la moins accessible : calcium dentaire.

Nous avons dosé le calcium du sérum sanguin : c'est la calcémie, dans laquelle entrent du calcium ionisé, du calcium diffusible non ionisé, enfin du calcium non diffusible lié aux protéines. Il faut remarquer que certains auteurs dosent la calcémie du plasma au lieu de celle du sérum : il y a dans ce cas très peu de différence pour un sang donné.

Suivant les auteurs classiques la calcémie chez les bovins adultes est assez constante :

Pribyl trouve : 55,8 à 99 mg/litre,

Seekles Sjollem et Van der Kaay : 77 à 108,5 mg/litre.

Ces divergences provenaient, d'après Lesbouyriès, Berthelon et Lomer, de l'emploi de méthodes différentes. Ces derniers auteurs, après une série d'expériences, ont obtenu pour la calcémie normale des chiffres variant de 82,5 mg/litre à 115 mg/litre de sérum en employant pour leurs dosages la méthode de Krammer et Tisdall modifiée par Clark et Collip. Utilisant la même méthode, Liégeois, Derivaux et Hennaux ont dosé le calcium dans le sérum de 108 bovins. Ils ont trouvé pour la calcémie des chiffres variant de 100 à 120 mg/litre de sérum (moyenne 114 mg/litre).

Nos dosages portant sur le sérum de 188 bovins nous ont donné : 66 à 114 mg de calcium par litre. La moyenne générale de nos essais est de 98 mg de calcium par litre. Nos chiffres sont donc inférieurs à ceux des auteurs classiques, on pourra peut-être imputer ce fait à l'emploi d'une méthode de dosage particulière mais comme nous allons le voir cette explication ne doit pas seule être retenue.

L'âge, l'état de gestation, la lactation ont peu d'influence sur la calcémie et nous sommes en accord sur ce point avec les auteurs précités : l'équilibre du milieu interne exige une calcémie constante ; dans l'énorme masse de calcium en réserve l'organisme peut puiser en cas de besoin ou se décharger en cas d'abondance.

Si dans un lot d'animaux appartenant à une même exploitation il y a peu d'écart dans le taux du calcium sanguin d'un bovin à l'autre, il n'en est pas de même quand on passe d'une exploitation à une autre : on se rend compte de ce phénomène lorsque l'on compare les moyennes obtenues dans chaque exploitation. Elles oscillent entre 86,6 mg/litre de Ca et 104 mg/litre de Ca : la provenance des animaux influe donc certainement sur la calcémie.

II. — LA PHOSPHATÉMIE

La phosphatémie apparaît comme beaucoup moins stable que la calcémie. Selon Liégeois (F.), Derivaux (J.), et Hennaux (L.), l'âge, l'alimentation en seraient les principaux facteurs de variation. Ces auteurs citent comme chiffres se rapportant à la phosphatémie :

- — chez les jeunes bovins 58 à 85 mg/litre (moyenne 67 mg/litre),
- — à partir de 2 ans, stabilisation entre 45 et 58 mg/litre avec une moyenne de 49 chez les vaches en lactation,
- — chez les bêtes tarées et en gestation avancée, le niveau est plus élevé, 58 à 65 mg/litre (moyenne 61).

Nous nous sommes adressés presque toujours à des bovins adultes pour effectuer nos prélèvements. Nous avons obtenu pour la phosphatémie des chiffres allant de 27 mg/litre à 99 mg/litre : la moyenne générale étant de 58 mg/litre. Nous sommes donc en accord sur ce point avec les auteurs classiques.

Il est certain que l'alimentation intervient pour une grande part comme facteur de variation de la phosphatémie, puisque d'une exploitation à l'autre on peut passer d'une moyenne de 33 mg/litre à une moyenne de 95 mg/litre.

III. — LE RAPPORT PHOSPHOCALCIQUE

La calcémie et la phosphatémie sont les meilleurs témoins de l'équilibre calcium-phosphore dans l'organisme. On a voulu concrétiser cet équilibre en parlant du rapport phosphocalcique qui est le rapport du taux de calcium au taux de phosphore $= \frac{\text{Ca}}{\text{P}}$.

D'après Sjollema et Seekles ce rapport serait constant chez les bovidés sains. Pour Liégeois (F.), Derivaux (J.) et Hennaux (L.), sa valeur pourrait osciller autour d'une moyenne qui serait fonction de l'âge des sujets : ces auteurs, en effet, citent chez les bovins

un rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ de 1,73 jusque vers l'âge de 20 mois et un rap-

port $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ de 2,8 à partir de 2 ans.

Il ne faut pas attacher une trop grande importance à la valeur de ce rapport. Comme Theiler l'a montré, le rapport $\frac{\text{Ca}}{\text{P}}$ peut

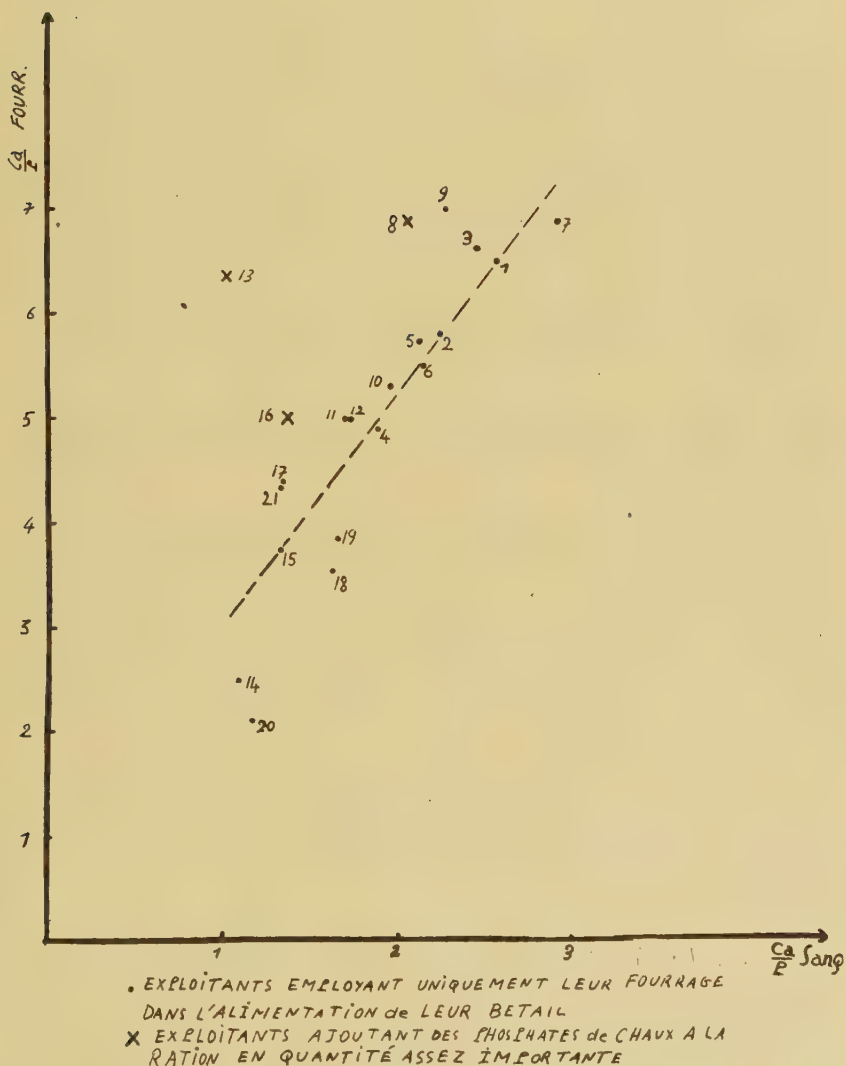
être optimum et cependant l'animal peut manquer de calcium et de phosphore. Il faut donc surtout tenir compte du taux de phosphore et du taux de calcium pris séparément. Ayant remarqué que ces taux variaient d'une façon importante d'une exploitation à l'autre, nous en avons recherché l'explication dans l'alimentation, en calculant le rapport phosphocalcique. La plupart des propriétaires utilisaient uniquement leur fourrage pour l'alimentation de leur bétail (exploitations I, III, IV, V, VI, VII, IX, XI, XV, XVII, XVIII, XIX, XX, XXI), d'autres propriétaires ajoutaient à l'alimentation de base un « aliment complet » contenant des phosphates de chaux. Il nous a été impossible de savoir d'une manière précise la quantité de ces produits ajoutés à la ration journalière, aussi ne citerons-nous que ces exploitations, ce sont : II, VIII, IX, XI, XII, XIV, XVII. Les exploitants qui ont apporté des engrais à leurs pâtures nous ont donné des fourrages dont le rapport phosphocalcique était nettement inférieur aux autres (fourrages N^{os} IV, XI, XII, XIV, XV, XVIII, XIX et XX). Le rapport phosphocalcique du sérum semble donc être fonction du rapport phosphocalcique des fourrages aux erreurs d'expériences près. C'est ce qu'illustre la courbe ci-dessous.

IV. — LA PHOSPHATASÉMIE

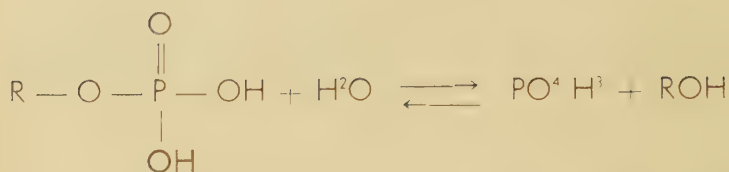
— Les phosphatases sériques.

Les phosphatases sont des enzymes libérant l'acide orthophosphorique à partir des dérivés phosphorés minéraux ou organiques (Fabre (A.)). On classe les phosphatases en phosphomonoesterases et en pyrophosphatases. Dans le premier groupe on rencontre quatre phosphatases étiquetées I, II, III, IV, dans le second groupe trois phosphatases seulement. Seul le premier groupe sera étudié ici.

Rappelons que les phosphomonoesterases sont désignées ainsi parce qu'elles hydrolysent les monoesters de l'acide orthophos-



phorique en une molécule d'acide orthophosphorique et un corps à fonction alcoolique ou phénolique :



Les quatre types de phosphomonoesters s'individualisent ainsi, d'après Roche :

Type I : pH optimum entre 8,6 et 9,4 ; os, rein, intestin, glande mammaire en sont les principales sources, elles sont activées en présence d'ions Mg^{++} et Mn^{++} et inhibées par les thiols.

Type II : pH optimum 5,0 et 5,6. On rencontre ces phosphatases dans le foie, la rate, les graines et les champignons, elles ne sont pas activées par les ions Mg^{++} et sont inhibées par les fluorures.

Type III : pH optimum 3,4 à 4,2 ; les principales sources sont le foie, les champignons, le son, le riz, les levures hautes, inhibition par les ions Mg^{++} .

Type IV : pH optimum 5,0, 6,4 ; elles se trouvent dans les hématies, les levures hautes et sont activées par Mg^{++} et Mn^{++} .

Le sérum contient deux phosphatases, l'une du type phosphomonoesterase II, dont le pH optimum est acide, l'autre du type phosphomonoesterase I agissant en milieu alcalin (pH optimum : 8,6-9,4). D'après Courtois et Plumel, ce serait cette dernière de beaucoup la plus active.

L'activité phosphatasique d'un sérum est exprimée en unités qui correspondent à une quantité déterminée d'acide phosphorique ou de dérivés mis en liberté dans des conditions expérimentales bien précises.

Dans notre travail de thèse, nous nous sommes occupés du dosage en unités Bodansky de la phosphatase alcaline I. Rappelons la définition de l'unité Bodansky : on dit que 100 cc. de plasma contiennent une unité Bodansky (U.B.) quand ils font apparaître en une heure, à 37° à pH 8,6, aux dépens du β -glycérophosphate de sodium, 1 mg d'acide phosphorique exprimé en phosphore.

— Résultats.

Aucun auteur ne donne le taux de phosphatases exprimé en unité Bodansky (U.B.) chez les bovins adultes. Il nous sera donc impossible de comparer nos chiffres avec ceux cités par Liégeois, Derivaux et Hennaux et exprimés en unités Roberts, car l'unité Bodansky ne peut être transformée en unité Roberts.

La phosphatasémie, variable chez l'homme, puisque chez les sujets normaux le nombre d'U.B. varie de 1,5 à 5 et peut atteindre 12 chez l'enfant selon Joppe et Bodansky, nous est apparue également très instable chez les bovins.

— Chez les adultes, le nombre d'U.B. varie de 0,5 à 5 dans les conditions normales.

— Chez le veau, Delorme, dans sa thèse, cite pour les phosphatases une variation de taux allant de 4 à 11,6 unités Bodansky. Sur ce point, nous sommes en accord avec lui. Nous avons prélevé exceptionnellement des échantillons de sang sur cinq génisses de 6 mois et nous avons trouvé des chiffres variant de 3,6 à 7,3 U.B.

— Nous avons remarqué également que le nombre d'U.B. paraissait être plus élevé chez les femelles pendant l'œstrus. A ce sujet, nous ne possédons malheureusement que six observations : le nombre d'U.B. varie chez ces femelles de 5,9 à 13,7 (cf. le tableau ci-dessous).

Tableau	Vaches N°	P	Ca	U. B.	Observations
I	1	41	89	6,3	Œstrus.
IV	3	48	89	7,3	Œstrus.
IV	4	48	90	13,7	Vache stérile, a reçu 70 mg de cycloestrol 48 heures auparavant.
V	13	31	96	10,2	Œstrus.
X	6	55	103	8,4	Œstrus.
XX	4	81	95	5,9	Œstrus.

Il est bon de rapprocher cette action de l'œstrus sur le taux d'U.B. du sérum, de celle des œstrogènes sur la calcémie. Citons à ce sujet les observations de Folley qui, dans une série d'expériences, injecte de grandes quantités de benzoate d'œstradiol (20 à 120 mg) à des vaches pour provoquer chez celles-ci une lactation artificielle. Il observe une légère diminution de la calcémie puis aussitôt une augmentation de la phosphatasémie.

Hammond et Day, également, traitant 140 vaches et génisses par implantation sous-cutanée de plaquettes de stilboestrol, constatent des fractures du bassin dues selon eux au relâchement de ligaments pelviens.

Folley et Malpress, employant les mêmes produits, observent dans 20 % des cas des fractures du pelvis : il y a donc action certaine de la folliculine sur le processus d'ostéolyse et l'hyperphosphatasémie reflète assez fidèlement ce phénomène.

— La gestation paraît avoir une influence sur la phosphatasémie, particulièrement à l'approche du terme : chez les 19 vaches qui, au moment des prélèvements étaient près de leur terme, nous avons rencontré une hyperphosphatasémie assez importante : le nombre d'U.B. variant de 7,3 à 27,8 (cf. tableau ci-dessous).

Tableau	Vache N°	P mg/L	Ca mg/L	U. B.	Age	Gestation par mois	Observations
V	9	38	100	13	7	7 mois	Non tarie.
V	4	45	105	15,4	12	5 mois	Non tarie.
X	5	46	101	20,2	11		Vélage très récent.
XIII	2	184	101	23,6	9	Vél.réc.	Non tarie.
XIII	8	93	103	12,6	6	8 mois	Tarie.
XV	9	69	99	18,5	7	7 mois	Non tarie.
XV	12	95	101	7,3	4	9 mois	Tarie à 8 mois à terme.
XVII	4	87	96	16,9	4	6 mois	Non tarie.
XIX	4	60	99	13	9	9 mois	Tarie à 8 mois à terme.
XIX	7	58	103	11,4	10	Vélage	Vélage dix jours avant.
XIX	10	52	107	24,8	10	9 mois	Tarie à 8 mois $\frac{1}{2}$.
XIX	11	61	96	27,8	4	9 mois	A terme.
XIX	16	56	97	20,5	3	7 mois	Non tarie.
XX	1	77	102	10,5	3	7 mois	Non tarie.
XX	2	76	98	7,7	5	Vélage	Vélage 2 mois av.
XX	7	74	96	9	7	7 mois	Non tarie.
XX	8	73	97	8,5	3	7 mois	Non tarie.
XXI	3	83	96	26,7	9	Vélage	Vélage la veille.
XXI	5	75	104	17,6	13	Vélage	Vélage 8 jours av.

Le taux de phosphatases est particulièrement élevé chez les vaches qui sont près de leur terme et que l'on a continué à traire et chez celles qui ont été tarées très tard. Nous ne pouvons pas savoir toutefois, si cette variation des taux des phosphatases est un processus physiologique ou pathologique. Deux hypothèses sont valables : libération au cours de la gestation des réserves osseuses pour permettre le développement du fœtus ou alors remaniement osseux du bassin et préparation de celui-ci en vue de l'accouchement.

CONCLUSIONS

I. — En consultant les résultats de nos analyses de fourrages, il apparaît que ceux-ci ont un taux de calcium inférieur à la normale et un taux de phosphore encore plus bas. En conséquence, le rapport phosphocalcique est très élevé pour la plupart des fourrages. L'enquête des Services Agricoles avait montré, par l'analyse des sols, cet état de chose : forte acidité et manque d'acide phosphorique.

Nous ne saurions donc assez insister auprès des éleveurs sur la nécessité de corriger l'acidité de leur terrain par amendement calcaire, et d'apporter au sol, sous forme d'engrais phosphaté, l'acide phosphorique, aliment indispensable à la plante.

II. — Il ressort de notre enquête personnelle, la preuve de l'existence d'une relation entre la teneur en calcium et phosphore des fourrages d'une part, et celle du sérum d'autre part : cette relation est mise en évidence en comparant le rapport phosphocalcique des fourrages à celui du sérum. On peut même penser que le rapport phosphocalcique du sérum est fonction de celui des fourrages.

III. — Nos prélèvements n'ayant été effectués que sur des bovins vivant sur un sol acide, il serait intéressant d'effectuer les mêmes dosages après correction de ces sols.

IV. — La phosphatasémie semble être assez constante chez les bovins adultes ; elle subit cependant les variations physiologiques suivantes :

- hyperphosphatasémie chez les jeunes.
- hyperphosphatasémie, semble-t-il, pendant la période d'œstrus (il serait intéressant en effectuant de nouvelles recherches, de préciser le phénomène).
- augmentation du taux des phosphatases à l'approche du terme ; ce taux demanderait à être étudié expérimentalement à cause de l'importance et de l'intérêt des problèmes biologiques soulevés.

Le Directeur
de l'Ecole Vétérinaire de Lyon,
JUNG.

Le Doyen,
H. HERMANN.

Le Professeur
de l'Ecole Vétérinaire de Lyon,
FLORIO.

Le Président de la Thèse,
GABRIELLE.

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 26 Novembre 1955.

Le Recteur, Président du Conseil de l'Université,
André ALLIX.

BIBLIOGRAPHIE

1. ADDA (M.). — Carence en calcium chez les bovins du Pays d'Auge. Thèse Doct. Vét. Alfort, 1949, in R.A., 1950, 3, 180.
2. BERTHEUIL (R.). — Acidité du sol des prairies et ses conséquences. Thèse Doct. Vét. Lyon, 1931.
3. BOUSSINGAULT (M.). — Agronomie, chimie agricole et physiologie. Paris, 2^e édition, 1874, 5.
4. BRESSON (Cl.). — Le rôle du phosphore dans la production animale. Le phosphore et son rôle biologique. Presses Univ. France, 1949, 37.
5. BRIGGS (A.P.). — Dosage des phosphates dans le sang. J. of Biol. chem., 1922, 53, 13 - 1924, 59, 255.
6. BRION (A.). — Les maladies animales liées à l'alimentation à la prairie. C.R. J. d'études sur l'alim. à la prairie, Paris, déc. 1951.
7. CHARTON (A.). — Déséquilibres alimentaires qualitatifs chez les animaux de la ferme. Rec. Méd. Vét., 1951, 127, N 11, 848.
8. CLAVIE (M.). — Sol et flore des prairies et leurs relations avec la pathologie animale. Thèse Doct. Vét. Toulouse, 1937.
9. DANIEL (G.). — Calcithérapie (Cartier, Lyon, 1946).
10. DELORME (R.). — Contribution à l'étude de l'Avitaminose D expérimentale chez le veau. Thèse Doct. Vét. Lyon, 1955.
11. DEMOLON (A.). — La carence phosphorique, ses répercussions en biologie, hématurie. Presse Univ. de France, Paris, 1949, 121.
12. DOURY (R.). — Du rôle des engrais phosphatés et calciques dans l'amélioration du bétail. Thèse Doct. Vét. Toulouse, 1928.
13. DREVON (M.B.) et Mlle MANDON. — Dosage rapide de la calcémie. Lyon pharmaceutique, 1953, n° 8.

14. EWER (T.K.) et SELLERS (K.C.). — Aphosphorose des jeunes vaches. *The Vet. Rec.*, 1950, 62, 343, in *Rev. Alf.*, 1951, 1, 48.
15. FABRE (A.). — Les phosphatases, intérêt de leur dosage. *Presse Méd.*, 1950, 441, 743.
16. FERRANDO (R.). — Le phosphore dans les différents aliments des animaux domestiques. Le phosphore et son rôle en biologie. Presses Univ. France, 1949, 131.
17. FERRANDO (R.). — Aspects de l'alimentation de la vache laitière. *Le Lait*, 1950, 30, n° 299-300, 612.
18. FERRANDO (R.), GERHARDT (F.) et CHAZAL (P.). — Enquête sur l'alimentation des vaches laitières de la région de Lyon. *C. R. Ac. Agr.*, 1950, 36, n° 16, 633.
19. FERRANDO (R.). — Les relations entre les carences du sol et les carences des animaux domestiques. *Cah. Méd. Vét.*, 1951, 20, n° 6, 1.
20. FERRANDO (R.). — Quelques oligo-éléments et leur carence chez les animaux domestiques. VI^e Congrès int. Path. comp., Madrid, mai 1952.
21. FERRANDO (R.) et SOMON (M.). — Remarques à propos des fourrages provenant de régions où sévit l'hématurie essentielle. *Bull. Ac. Vét. de France*, janv. 1953.
22. FOLLEY (S.J.). — The effect of oestrogen hormones on lactation, and on the phosphatase of the blood and milk of the lactating cow. *Biochem. J.*, 1936, 30, 2262.
23. FOLLEY (S.J.), MALPRESS (S.H.). — The artificial induction of lactation in the bovine by the subcutaneous implantation of synthetic oestrogen tablets. *J. Endocr.*, 1944, 4, 1.
24. FOURNIER. — L'interprétation des cartes géologiques au point de vue de l'Agriculture. Librairie Polytechnique, Paris, 1904.
25. GAIN (E.) et BROCC-ROUSSEU (D.). — Traité des foin. Baillières, Paris, 1912.
26. GUILLIN (R.). — Analyses agricoles. Baillières, Paris, Encyclopédie agricole, 1926.
27. HAMMOND (J.), DAY (F.T.). — *J. Endocr.*, 1944, 4, 53, in *Enc. Vét. périodique*, 1948, 9-10.
28. LAMARRE (L.). — Sémiologie du sang des Bovidés. *Rec. Méd. Vét.*, 1933, 109, 69.

29. LENGLEN (M.). — Rôle, importance et emploi de la chaux en agriculture. Synd. Nat. Propag. pour dével. l'emploi des engrais chimiques.
30. LESAGE (J.). — Au sujet de l'acide phosphorique du sol. Bull. Ac. Vét., 1938, 11, 451.
31. LIÉGEAIS (F.), DERIVAUX (J.), HENNAUX (L.). — De la valeur de quelques constantes sanguines chez le Cheval, les Bovins et le Chien à l'état normal. Annales de Méd. Vét., 1945, 89, 97, in R.A., 1948, 8, 375.
32. LESBOUYRIÈS (G.), BERTHELON et LOMER. — Rapport sur quelques recherches biochimiques dans le sérum de vaches atteintes de fièvre vitulaire. Bulletin mensuel de la Soc. Vét. Prat. de France, juin 1935, p. 166, in R.A., 1936, mars, p. 176.
33. LESBOUYRIÈS (G.). — Syndrome d'hypocalcémie aiguë, in R.A., 1932, 3, 129.
34. LESBOUYRIÈS (G.), CHARTON (A.). — Aphosphore des sols et ses conséquences chez les Herbivores, in R.A., 1949, 7, 289.
35. LOMER (P.E.). — Contribution à l'étude de l'hypocalcémie dans la fièvre vitulaire. Thèse Vét., Paris, 1935.
36. MAIGNON. — Etiologie du rachitisme. R.A., 1927, 2, 73.
37. MAJOR (R.L.). — The calcium, phosphorus and vitamin D of our cows. Guernsey Breeders' Journal, 1951, 5, n° 4, 32.
38. MAYEUX (G.). — Sur l'avitaminose D du chien. Diagnostic chimique. Contrôle du traitement. Thèse Vét., Lyon, 1953.
39. MEUNIER (P.) et RAOUL (Y.). — Le diagnostic chimique des avitaminoses. Paris, 1942, Masson & C^{ie}, éditeurs.
40. MOME. — Tétanie des jeunes bovins. R.A., juillet 1936, 397.
41. OGG (W.G.). — Rôle du phosphore en agriculture. Le phosphore et son rôle en biologie. Presse Univ. France, 1949, 45.
42. PERRIER (G.M.). — La fertilisation phosphatée. Communication au II^e Congrès Mondial Engrais chimiques, Rome, octobre 1951.
43. ROBIN (V.). — Manifestations pathologiques de la carence phosphorée chez les animaux. Le phosphore et son rôle en biologie. Presse Univ. France, 1948, 143.
44. ROCHE (J.) et BOUCHILLOUX (S.). — Spécialité de la phosphatase alcaline. Soc. chim. Biol., XXII, 739.

45. ROCHE (J.) et COURTOIS (J.). — Les phosphatases. Exp. An. de Biol. Méd. publiées par M. Polonowski, 1944, IV, 219.
 46. ROCHE (J.). — La phosphatase des os. Exp. An. de Biol. Méd. publiées par M. Polonowski, 1942, III, 251.
 47. SEEKLES. — Biochimie, base de l'étude des troubles fonctionnels dans les processus vitaux. R.A., 1949, août, 337.
 48. SJOLLEMA et SEEKLES. — Déséquilibre minéral dans des maladies des Bovidés. A. Bioch. Zeitsch., 1930, vol. 229, n° 4, 6, in R.A., 1931, p. 492.
 49. SOMON (M.). — Contribution à l'étude de l'hématurie essentielle des Bovidés. Thèse Doct. Vét., Lyon, 1953.
 50. STEFANOVIC. — La calcémie et l'hypothermie léthargique. R.M.V., 1953, 10, 582.
 51. THEILER (A.I.) et GREEN (H.H.). — L'Aphosphorose chez les Ruminants. Inst. Int. Agric. Rome, 1932.
 52. VAN DAALEM. — Contribution à la connaissance de la composition chimique et botanique du foin. Influence des fumures sur sa composition.
 53. VAUDEY (R.). — Rapports ostéomalacie, hémoglobininurie et stérilité de la vache laitière. Thèse Doct. Vét. Alfort, 1946.
 54. VILLEMIN (M.). — Influence de différentes substances œstrogènes sur la calcémie des Oiseaux et des Mammifères. Thèse Doct. Vét., Lyon, 1949.
 55. WELLMANN. — Rapport des substances minérales dans l'alimentation des animaux et satisfaction des besoins de l'organisme en chaux et phosphore. Bull. Soc. Vét. Pratique, fév. 1941, 30.
-

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	11
PREMIÈRE PARTIE. — Etude du milieu	15
CHAPITRE PREMIER. — Géographie	15
CHAPITRE II. — Géologie	17
CHAPITRE III. — Les sols	19
CHAPITRE IV. — Le bétail	21
DEUXIÈME PARTIE. — Les prélèvements et leur dosage	23
CHAPITRE PREMIER. — Méthode de prélèvement	23
1° Les échantillons de sang	23
2° Les échantillons de fourrage	24
CHAPITRE II. — Méthode de dosage utilisées	25
1° Dosage du calcium	25
2° Dosage du phosphore minéral et des phosphatases sanguines	29
TROISIÈME PARTIE. — Résultat des dosages	33
CHAPITRE PREMIER. — Observations faites sur des bovins appartenant à XXI exploitations	33
CHAPITRE II. — Analyse de fourrages provenant de diffé- rentes exploitations	46
CHAPITRE III. — Discussion	47
CONCLUSIONS	57
BIBLIOGRAPHIE	59
